

## ⑪ 公開特許公報 (A)

昭62-120090

⑤Int.Cl.<sup>1</sup>

H 01 S 3/09

識別記号

庁内整理番号

⑬公開 昭和62年(1987)6月1日

7630-5F

審査請求 未請求 発明の数 1 (全5頁)

⑭発明の名称 光信号増幅装置

⑮特 願 昭60-261771

⑯出 願 昭60(1985)11月20日

⑰発明者 青木 恭弘 東京都港区芝5丁目33番1号 日本電気株式会社内

⑱出願人 日本電気株式会社 東京都港区芝5丁目33番1号

⑲代理人 弁理士 内原 晋

## 明細書

発明の名称 光信号増幅装置

## 特許請求の範囲

信号光源と、それぞれの波長が $\lambda_{pi}$ ( $i=1,2,\dots,N$ ;  $\lambda_{pi} < \lambda_{pi+1}$ )のN個の励起光源と、光ファイバと、前記信号光源から出射される信号光と前記N個の励起光源から出射されるN波長の励起光を合波する波長多重回路とを備え、かつ、前記励起光源が

$$\lambda_{pN} - \lambda_{p1} < \Delta\lambda$$

(Δλ:光ファイバの誘導散乱利得帯域幅)

の条件を満足することを特徴とする光信号増幅装置。

## 発明の詳細な説明

## (産業上の利用分野)

本発明は、光ファイバの誘導散乱効果を用いて信号光を光ファイバ内で増幅する光信号増幅装置に関する。

## (従来の技術)

光ファイバ通信装置では、信号光を直接増幅することによって許容伝送路損失の増大が計れることから、近年、光増幅に関する研究開発が活発に行なわれている。その有力な手段として、光ファイバの誘導散乱効果を用いて信号光を直接増幅する方式がある(オプティカル・エンジニアリング(Optical Engineering)、第24巻、1985年、600~608ページ)。この方式で信号光を増幅するには、信号光の波長よりもストークスシフト量だけ波長の短かい励起光を、信号光とともに光ファイバに入射させる。このとき、信号光は励起光によって光ファイバ内に誘起された誘導散乱利得によって増幅される。誘導散乱効果としては、ストークスシフト量が比較的大きいことや、その値が光ファイバの構造に依存しないことから通常誘導ラマン効果が用いられている。ここで、誘導ラマン効果の場合には、励起光を信号光と同一方向に光ファイバ中を伝搬させる前方増幅と、逆方向に伝搬させる後方増幅の両励起方式が可能である。

この誘導散乱効果を用いた光信号増幅装置では、光ファイバを伝送媒質とともに増幅媒質として用いていること、また、高利得、高速応答などの特性を有していることなど、半導体増幅媒質を用いた装置に比べて多くの利点がある。しかしながら、この装置では、十分な利得( $\geq 20$ dB)を得るには、通常、1W以上の高出力な励起光源が必要であるという問題点がある。光ファイバの低損失波長域である波長1.3~1.5μm帯において、このような高出力が得られるレーザ光源は、現段階ではNd:YAGレーザやカラーセンターレーザ等に限られており、従来の装置ではこれらのレーザ光源が励起光源として用いられている(例えば、エレクトロニクスレターズ(Electronics Letters)、第21巻、191~193ページ)。しかしながら、これらのNd:YAGレーザやカラーセンターレーザは、高出力が得られるものの、装置が大掛かりであり、また、その励起用ランプやレーザ用結晶の寿命が短く、さらに、出力の時間安定度が悪いという欠点があった。そして、この欠点は、上述の誘導散乱効

果を用いた光信号増幅装置を実用的な光ファイバ通信装置に応用するにあたって寿命や信頼性の点で最大の難点となつて表わされていた。

一方、光通信用信号光源として用いられている半導体レーザは小型・軽量で、かつ、出力安定度も極めて良いが、得られる出力は最高性能のものでも高々100mW程度であるので、光ファイバの励起光源としては出力が不十分であった。

(発明が解決しようとする問題点)

本発明の目的は、以上述べた様な励起光源に致命的な問題点を有する従来の誘導散乱効果を用いた光信号増幅装置の欠点を除去するために、長寿命でかつ信頼性に富んだ半導体レーザを励起光源として用いることを可能とした光信号増幅装置を提供することにある。

(問題点を解決するための手段)

本発明による光信号増幅装置は、信号光源と、それぞれの波長が $\lambda_{pi}$ ( $i=1, 2, \dots, N$ ;  $\lambda_{pi} < \lambda_{pi+1}$ )のN個の励起光源と、光ファイバと、前記信号光源から出射される信号光と前記N個の励起光源から出射さ

れるN波長の励起光を合波する波長多重回路とを備え、かつ、

$$\lambda_{pN} - \lambda_{p1} < \Delta\lambda$$

( $\Delta\lambda$ :光ファイバの誘導散乱利得帯域幅)

の条件を満足する様にして、前記信号光を前記光ファイバ内で増幅することを構成上の特徴としている。

本発明の好適な実施例によれば、前記N個の励起光源として半導体レーザを用いることを構成上の特徴としている。

(作用)

本構成は、N個の励起光源からのN波長の光が合波された多波長光を励起光とし、かつ、その波長域 $\lambda_{pN} - \lambda_{p1}$ を誘導散乱利得帯域幅 $\Delta\lambda$ よりも十分に狭くしたものである。

まず、一般に、N個の励起光源の各々の発振波長が同じ場合には、いかなる光合分波器を用いようとも、合波後の光パワーは、N個の励起光源のうちで最大出力を有する1個の励起光源の出力パワーを上回る様にすることはできない。しかしながら

ら、本発明の様に、波長の異なった励起光源の場合には、波長多重回路によって容易に低損失で合波させ得る。その結果、所要の増幅利得を得るために必要な励起入力パワーをPとすると、N個の励起光源の各々の出力は、P/N程度で良い。したがって、この発明によれば、半導体レーザを励起光源として使用することが可能になる。

この発明では、多波長光を励起光としているが、その波長域を誘導散乱利得帯域幅よりも十分狭くすることにより、多波長光にしたことによる影響が増幅利得にほとんど表われない様にすることができる。以下にこの理由について、誘導ラマン効果の場合を例にとって説明する。

一般に、誘導ラマン効果による励起光と信号光の相互作用は、励起光の進行方向をz軸にとると、次式で記述できる。

$$\pm \frac{\partial E_s}{\partial Z} + \frac{1}{V_s} \cdot \frac{\partial E_s}{\partial t} + \frac{a_s}{2} E_s = -i \cdot K_2 \cdot Q^* \cdot E_p \quad \dots \textcircled{1}$$

$$\frac{\partial Q^*}{\partial t} + 2\pi \cdot \Delta v_R \cdot Q^* = i \cdot K_1 \cdot E_p^* \cdot E_s \quad \dots \textcircled{2}$$

ただし、①式における複号は、+が前方増幅、-が後方増幅の場合を表わしており、後方増幅の場合には信号光は-z方向に伝搬する。

ここで、

$E_p, E_s$ : 勵起光および信号光の複素振幅、

$Q$ : 光ファイバ媒質の分子振動の変位、

$V_s$ : 光ファイバ中での信号光の群速度、

$K_1, K_2$ : 光ファイバ媒質の分極に関連した定数、

$\alpha_s$ : 光ファイバ中での信号光の伝送損失、

$\Delta v_R$ : 光ファイバの誘導ラマン利得帯域幅、

(波長で表わす場合には、以降 $\Delta \lambda_R$ で表示する)である。

励起光がN波長の多波長光である場合、その複素振幅を $\sum_{i=1}^N E_{pi}$ で表わすと、①②式より次式が導かれる。

$$\frac{d|E_s|^2}{dz} = \pm g_R \cdot |E_s|^2 \cdot \sum_{i=1}^N \frac{|E_{pi}|^2}{1 + 2 \frac{|\lambda_{PM} - \lambda_{pi}|}{\Delta \lambda_R}} \mp \alpha \cdot |E_s|^2 \quad \dots \text{③}$$

よる增幅利得の低下は極めて小さいことがわかる。

ここで、 $\lambda_{pi} < \lambda_{pi+1}$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ) と表示すると④式の条件は、

$$\lambda_{pN} - \lambda_{p1} < \Delta \lambda_R \quad \dots \text{④}$$

と書き改められる。

#### (実施例)

次に、図面を参照して本発明の光信号増幅装置について詳細に説明する。

第1図は、本発明による一実施例であり、第2図は本実施例での励起光と信号光の波長の関係を示した図である。この実施例では、誘導散乱効果としては誘導ラマン効果を用い、後方増幅方式を採用している。また、励起光源の個数は17( $N=17$ )である。

第1図において、信号光源1、励起光源201, 202, ..., 217としては、それぞれの発振波長が $\lambda_s = 1.56\mu m$ ,  $\lambda_{p1} = 1.4515\mu m$ ,  $\lambda_{p2} = 1.4520\mu m$ , ...,  $\lambda_{p17} = 1.4600\mu m$  (波長間隔: 約0.5nm) の $In_xGa_{1-x}As_{1-y}Py/InP$ 分布格子型単一軸モード半

ただし、

$$g_R: \text{誘導ラマン利得係数}, \\ = \frac{K_1 \cdot K_2}{\alpha \cdot \Delta v_R}$$

$\lambda_{PM}$ : N波長の多波長光の中心波長

である。

③式において、

$$|\lambda_{PM} - \lambda_{pi}| < \Delta \lambda_R \quad (i=1, 2, \dots, N) \quad \dots \text{④}$$

の条件では、③式は以下の様に近似できる。

$$\frac{d|E_s|^2}{dz} = \pm g_R \cdot |E_s|^2 \cdot \sum_{i=1}^N |E_{pi}|^2 \mp \alpha \cdot |E_s|^2 \quad \dots \text{⑤}$$

ここで、波長 $\lambda_{pi}$ の励起光、信号光の光パワーをそれぞれ $I_{pi}, I_s$ で表わすと、 $I_{pi} = |E_{pi}|^2, I_s = |E_s|^2$ なので

⑤式は、

$$\frac{d I_s}{dz} = \pm g_R \cdot I_s \cdot \sum_{i=1}^N I_{pi} \mp \alpha I_s \quad \dots \text{⑥}$$

と表わせる。

この式から明らかな様に、④式の条件の下では、誘導ラマン効果による単位ファイバ長あたりの增幅利得は、励起光のトータル光パワーによってのみ決定され、励起光を多波長光にしたこと

導体レーザを用いている。これらの半導体レーザの出力は40~55mWの範囲である。また、光ファイバ3は、コア径7μm、ファイバ長100km、波長1.45~1.56μmにおける伝送損失が0.3dB/km以下の单一モード偏光保存ファイバを使用している。さらに、光フィルター4は、中心波長1.56μm、透過波長幅30nmの干渉膜フィルタを、波長多重回路5は、溝の本数600本/nmのグレーティングとレンズによって構成されたものを、光合分波器6はダイクロイックミラーを用いている。さらにまた、光ファイバピッギテイル701, 702, ..., 717および8は、ファイバ長1m程度の前記光ファイバ3と同じ单一モード偏光保存ファイバを使用している。

励起光源である半導体レーザ201, 202, ..., 217の出力は、それぞれ光ファイバピッギテイル701, 702, ..., 717によって波長多重回路5に導かれ、そこで合波されている。そして、そのN波長の励起光は、光ファイバピッギテイル8、光合分波器6を通して、光ファイバ3に結合されている。この励起光のファイバ入力パワーは、光ファイバへの結合損

失および波長多重回路5などの損失が約3.5dBであったので約400mWである。

第2図は、本実施例での励起光と信号光の波長の関係を示した図である。励起光と信号光の波長間隔は約0.1μmであり、誘導ラマン散乱のストークスシフト量と一致させている。また、誘導ラマン利得帯域幅は約25nmであるので、本実施例の励起光は⑦式の条件を満足している( $\lambda_{p17} - \lambda_{p1} = 8.5\text{nm}$ ,  $\Delta\nu_R = 25\text{nm}$ )。その結果、この実施例においては、信号光は光ファイバ3を伝搬中に誘導ラマン効果によって約18dB増幅された。この値は、③式から見積もった値より約3dB低いだけであった。

上記においては、本発明による光信号増幅装置について一実施例を用いて説明したが、本発明はこの実施例に限定されることなくいくつかの変形が考えられる。

例えば、本実施例は、誘導散乱効果として誘導ラマン効果を用い、後方増幅方式を採用したが、他の誘導散乱効果を利用しても、また前方増幅方式を採用してもよい。また、本実施例では励

起光源の数はN=17としたが、⑦式の条件を満たす限り、Nは2以上のいかなる自然数でもよい。Nをより大きくすれば、所要の增幅利得を得るために必要な1個あたりの励起光源の出力は、より小さくできる。

更にまた、光ファイバ3としては、通常の単一モードシリカファイバ、あるいはGeO<sub>2</sub>やP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>などのその他の組成の光ファイバを用いてもよい。また、半導体レーザ1, 201, 202, ..., 217は波長1.45~1.56μmの光を出力するInGaAsP/InP半導体レーザとしたが、半導体レーザの材料はGaAlAs/GaAsなどの他の材料であってもよいし、波長も限界されない。これに加えて、波長多重回路5は複合レンズ型などの他のタイプのものであってもよいことは言うまでもない。

#### (発明の効果)

以上説明した様に、本発明による光信号増幅装置では、N個の励起光源からのN波長の光が合波された多波長光を励起光とし、かつ、その波長域を誘導散乱利得帯域幅よりも十分に狭くしている。

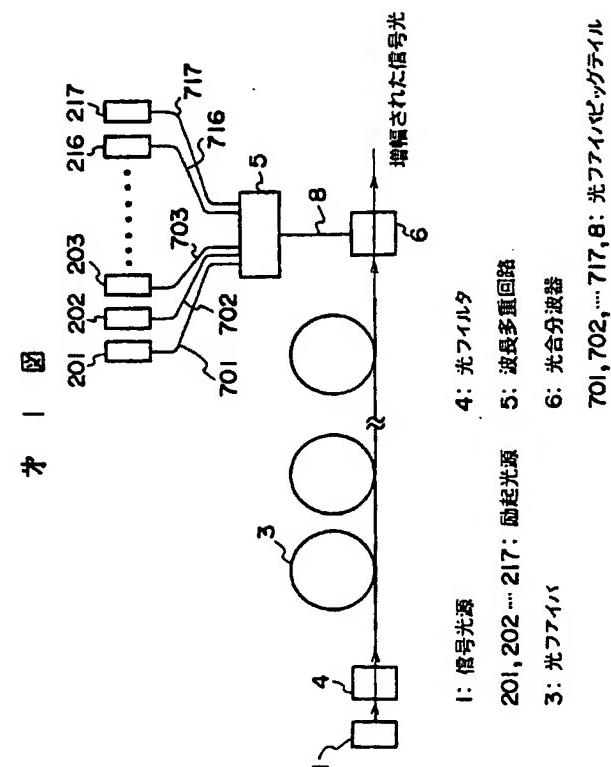
この結果、N個の励起光源の各々の所要出力は従来に比べて1/N程度となるので、長寿命でかつ信頼性に富んだ半導体レーザを励起光源として用いることが可能になるという利点がある。そして、従来に比べて、光ファイバ通信装置への適用に極めて適した光信号増幅装置が得られるという利点がある。

#### 図面の簡単な説明

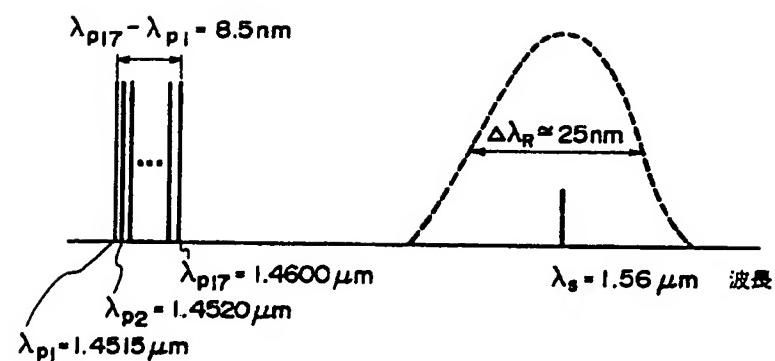
第1図は、本発明による一実施例の構成図、第2図は、本発明による一実施例における励起光と信号光の波長の関係を示す図である。

- 1: 信号光源、 201, 202, ..., 217: 励起光源、
- 3: 光ファイバ、 4: 光フィルタ、
- 5: 波長多重回路、 6: 光合分波回路、
- 701, 702, ..., 717, 8: 光ファイバピックティル。

代理人 沈理上 内 原



## 方 2 図



[First Hit](#)[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)

End of Result Set



Generate Collection

Print

L6: Entry 3 of 3

File: JPAB

Jun 1, 1987

PUB-N0: JP362120090A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 62120090 A

TITLE: OPTICAL SIGNAL AMPLIFICATION APPARATUS

PUBN-DATE: June 1, 1987

## INVENTOR-INFORMATION:

NAME COUNTRY

AOKI, YASUHIRO

## ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME COUNTRY

NEC CORP

APPL-NO: JP60261771

APPL-DATE: November 20, 1985

US-CL-CURRENT: 372/43

INT-CL (IPC): H01S 3/09

## ABSTRACT:

PURPOSE: To enable a semiconductor laser having a long life and high reliability to be utilized as an optical pumping light source, by utilizing, as pumping light, multiple wavelength light in which N types of wavelengths from N pumping light sources are synthesized while setting the wavelength range thereof to be narrower than the stimulated scattering gain bandwidth so as to decrease the output required from each light source to about 1/N of the output conventionally required.

CONSTITUTION: Multiple wavelength light in which N types of wavelengths from N optical pumping light sources are synthesized is utilized as pumping light, while the wavelength range  $\lambda_{pN} - \lambda_{p1}$  is set to be substantially narrower than the stimulated scattering gain bandwidth  $\Delta\lambda$ . With the pumping light sources having different wavelengths, those wavelengths can be easily synthesized with a low loss by a multiple wavelength circuit. Accordingly, in order to obtain a pumping input power P required for obtaining a required amplification gain, output of each of the N light sources may be  $P/N$ . Outputs from semiconductor lasers 201, 201, ..., 217 are led by optical fiber pig tails 701, 702, ..., 717, respectively, to the multiple wavelength circuit 5 and synthesized there. The pumping light having N wavelengths is coupled to an optical fiber 3 through an optical fiber pig tail 8 and an optical synthesizing/branching filter 6 and very little light is lost by the coupling to the optical fiber or by the multiple wavelength circuit 5.

COPYRIGHT: (C)1987, JPO&amp;Japio

[Previous Doc](#)[Next Doc](#)[Go to Doc#](#)